Journal of Horticultural Science
https://jhs.um.ac.ir

Research Article
Vol. 37, No. 1, Spring 2023, p. 277-291

The Effect of Biofertilizer and Salicylic Acid on Quantitative and Qualitative Traits of *Satureja hortensis* L. under Drought Stress Conditions

M. Ghojavand[1], P. Kasraei[2]*, H.R. Tohidi Moghadam[3], M. Nasri[4], H.R. Larijani[5]

Received: 14-04-2022
Revised: 14-05-2022
Accepted: 18-06-2022
Available Online: 18-06-2022

How to cite this article:
Ghojavand, M., Kasraei, P., Tohidi Moghadam, H.R., Nasri, M., & Larijani, H.R. (2023). The effect of biofertilizer and salicylic acid on quantitative and qualitative traits of *Satureja hortensis* L. under drought stress conditions. *Journal of Horticultural Science 37*(1): 277-291. (In Persian with English abstract). http://doi.org/10.22067/jhs.2022.76146.1163

Introduction

Satureja hortensis L. is an annual herbaceous plant of the mint family that has numerous raised or creeping stems or arched stems with a height of 10 to 30 cm. The height of this plant reaches a maximum of 60 cm. The stems and branches are usually covered with hairs. The leaves are opposite, have short or almost no petioles. The leaves are opposite, the petioles are short or almost without petioles, there are many small spots on the surface of the leaf called the tuber, which contains the essential oil. Knowledge of environmental, plant and agro-factors play an important role in the success of medicinal plants. One of the factors affecting the growth and development and production of active ingredients of medicinal and aromatic plants is water, the lack of which has a greater effect on reducing production than other inputs. Drought stress is an important global constraint on agricultural production and food security. Recently, there has been a growing interest in reducing the use of chemical fertilizers and exploring alternative methods for producing high-quality crops. This is particularly important in arid and semi-arid regions like most parts of Iran, where soil nutrient levels are often low. The use of biofertilizers can help strengthen plants and promote sustainable crop production. The objective of this study was to examine the impact of salicylic acid foliar application, Mycorrhiza-Azotobacter bio-fertilizers, and drought stress on the morphological and physiological characteristics of summer savory, a medicinal plant.

Materials and Methods

This experiment was conducted to evaluate some traits of summer savory in response to biological fertilizers, salicylic acid and drought stress in Zamanabad village of Rey city (Tehran province) during 2018 and 2017. This experiment was conducted using a randomized complete block design with three replications, as a factorial split plot. The main factor was irrigation, with three levels including soil moisture potential (as a control), potential of -5.5 atmospheres as medium stress, and potential of -10 atmospheres as severe stress. Sub-factors included four levels of biological fertilizers: No inoculation, seed inoculation with Azotobacter strain, seed inoculation with Mycorrhiza, and concomitant use of Azotobacter + Mycorrhiza. Salicylic acid was also considered at two levels: no foliar application and foliar application with a concentration of 0.6 mM. The following plant characteristics were studied: plant height, root dry weight, shoot dry weight, total chlorophyll content, proline content, percentage, and essential oil yield. At full flowering stage, the plants were harvested and placed in an oven at 75 ° C for 24 hours to measure the dry weight of roots and shoots. 10 g of leaves and flowering twigs from each replicate were transferred to the laboratory to measure physiological traits. SAS 9.4 software was used to perform a two-year combined analysis of variance for the recorded traits. To ensure the uniformity of variance of errors, the Bartlett uniformity test of variance was performed based on the mean squares and the degree of error freedom in two years. Mean traits were also compared using the least significant difference test (LSD) at the 5% probability level.

1, 2, 3, 4 and 5- Ph.D. Student and Assistant Professors, Department of Agronomy, Faculty of Agricultural, Islamic Azad University, Varamin-Pishva Branch, Pishva, Tehran, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: dr.kasraei@yahoo.com)
DOI: 10.22067/jhs.2022.76146.1163

Results and Discussion

The results showed that the effect of drought stress, fertilizer and salicylic acid treatments on the studied traits of plant height and shoot and root dry weight, chlorophyll content, percentage and yield of essential oil and proline content were significant. Salicylic acid and the combined application of Azotobacter + mycorrhiza increased plant height, plant dry weight and root, as well as increased chlorophyll content, proline, percentage and yield of safflower essential oil under drought stress. According to the results of this experiment, it can be argued that the response of plant height, plant dry weight and essential oil yield to the increase in drought stress levels was negative, but the root dry weight, total chlorophyll, proline and essential oil percentage were the opposite response. The highest amount of these traits was observed in severe stress conditions and the combined application of bio-fertilizers (Azotobacter + Mycorrhiza) and salicylic acid 0.6 mM had a positive and increasing effect compared to other levels of bio-fertilizer and salicylic acid in The studied traits of the present study were observed.

Conclusion

According to the results of this experiment, the application of bio-fertilizers and foliar application of salicylic acid causes dehydration and dehydration, as well as the presence of essential oils, nutrients, and the quality of summer safflower under drought stress.

Keywords: Azotobacter, Dehydration, Essential oil, Mycorrhiza, *Satureja hortensis* L.

نشریه علوم باغبانی
https://jhs.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۳۷، شماره ۱، بهار ۱۴۰۲، ص. ۲۹۱-۲۷۷

بررسی اثر کود زیستی و اسید سالیسیلیک بر صفات کمی و کیفی مرزه تابستانه (*Satureja hortensis* L.) در شرایط تنش خشکی

محمود قجاوند[۱]- پورنگ کسرایی[۲*]- حمیدرضا توحیدی‌مقدم[۳]- محمد نصری[۴]- حمیدرضا لاریجانی[۵]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۲۵
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۲/۲۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۲۸

چکیده

مرزه تابستانی (*Satureja hortensis* L.) از گیاهان بومی ایران است که در طب سنتی به‌عنوان داروی محرک، ضد نفخ، خلط‌آور، مقوی معـده، ضد اسهال و ضد سرطان کاربرد دارد. این آزمایش به‌منظور بررسی برخی صفات گیاه دارویی مـرزه تابسـتانه در پاسـخ بـه کودهـای بیولوژیـک، اسـید سالیسیلیک و تنش خشکی طی دو سال ۱۳۹۷ و ۱۳۹۶ مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش به‌صورت اسپلیت پلات فاکتوریل در قالـب طـرح بلـوک‌هـای کامل تصادفی در سه تکرار انجام گرفت. فاکتورهای آزمایش شامل آبیاری در سه سطح (پتانسیل رطوبت خاک ۰/۵- اتمسفر به‌عنوان شـاهد، پتانسـیل ۶/۵- اتمسفر به‌عنوان تنش متوسط و پتانسیل ۱۰- اتمسفر به‌عنوان تنش شدید که در مرحله ۴ تا۶ برگی استقرار گیاه با کشت مستقیم) به‌عنوان فاکتور اصلی اعمال شدند و فاکتورهای فرعی شامل کود بیولوژیک ازتوباکتر و میکوریزا در چهار سطح (۱- عدم تلقیح به‌عنوان شاهد، ۲- تلقیح بذر با ازتوباکتر ، ۳- تلقیح بذر با میکوریزا و ۴- استفاده توأم ازتوباکتر و میکوریزا) و اسید سالیسیلیک در دو سطح (۱- عدم محلول‌پاشی و ۲- محلول‌پاشی بـا غلظـت ۰/۶ میلی‌مولار) بودند که در مرحله ۴ تا ۶ برگی قبل از گلدهی (۸۵ روز بعد از مرحله ۴ برگی) اعمال شدند. صفات ارتفاع بوته، وزن خشک ریشـه، وزن خشک اندام هوایی، میزان کلروفیل کل، میزان پرولین، درصد و عملکرد اسانس بررسی شدند. نتایج نشان داد که اثر تیمارهای تنش خشـکی، کـودی و سالیسیلیک اسید بر صفات مورد مطالعه ارتفاع بوته و وزن خشک اندام هوایی و ریشه، محتوای کلروفیل، درصد و عملکرد اسانس و محتوای پـرولین در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند. اسید سالیسیلیک و کاربرد توأم ازتوباکتر و میکوریزا سبب افزایش ۱۷ درصـدی ارتفـاع بوتـه، ۱۹ درصـدی وزن خشک بوته، ۵۳ درصدی محتوای کلروفیل، ۳۳ درصدی درصد اسانس و ۹ درصدی عملکرد اسانس گیاه دارویی مرزه در شرایط تنش خشکی نسبت به شاهد شدند. بیشترین مقدار ارتفاع بوته (۴۸/۶۷ سانتی‌متر)، وزن خشک اندام هوایی (۲۸/۸۳ گرم)، وزن خشک ریشـه (۲/۲۷ گـرم)، محتـوای کلروفیـل (۱/۱۸ میلی‌گرم بر گرم)، درصد اسانس (۱/۸۷ درصد) و عملکرد اسانس (۹۱۲ کیلوگرم در هکتـار) مربوط به کـاربرد اسـید سالیسـیلیک و تیمار ترکیبی ازتوباکتر + میکوریزا بود. نتایج تحقیق حاضر حاکی از آن است که کاربرد کودهای زیستی به تنهایی و یا همراه با محلـول‌پاشـی اسـید سالیسـیلیک، در بهبود ویژگی‌های رشدی و عملکرد گیاه دارویی مرزه تأثیر مثبتی داشتند. امروزه استفاده از کودهای زیستی به جای مواد شیمیایی، هدف اصلی در تولیـد محصولات کشاورزی به‌ویژه در گیاهان دارویی است. کاربرد کودهای زیستی همراه با تنظیم کننده‌های رشد می‌توانند جایگزین مناسـبی بـرای مصـرف کودهای شیمیایی در این گیاه شوند.

واژه‌های کلیدی: ازتوباکتر، اسانس، کم آبی، مرزه تابستانه، میکوریزا

۱، ۲، ۳، ۴ و ۵- به‌ترتیب دانشجوی دکتری تخصصی و استادیاران گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ورامین- پیشوا، پیشوا، تهران، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: dr.kasraei@yahoo.com)

DOI: 10.22067/jhs.2022.76146.1163

مقدمه

مرزه تابستانه (*Satureja hortensis* L.) گیاهی علفی یک ساله از خانواده نعناعیان است که دارای ساقه‌های متعدد افراشته یا خیزان و یا ساقه‌های کمانی با ارتفاع ۱۰ الی ۳۰ سانتی‌متر می‌باشد. ارتفاع این گیاه حداکثر تا ۶۰ سانتی‌متر می‌رسد. ساقه‌ها و شاخه‌ها معمولاً پوشیده از کرک می‌باشند. برگ‌ها متقابل، دارای دمبرگ‌های کوتاه یا تقریباً بدون دمبرگ می‌باشند. برگ‌ها متقابل، در سطح برگ لکه‌های کوچک فراوانی وجود دارد غده نامیده می‌شود که حاوی اسانس است (Yazdanpanah *et al*., 2011). مرزه تابستانه بومی شمال آفریقا، خاورمیانه، آسیای مرکزی، جنوب و جنوب شرقی اروپا است و حاوی بسیاری از ترکیبات فنلی و فرار مانند کارواکرول، γ-ترپینن، تیمول، پاراسیمن، بتا-آریلن، لینالول و سایر ترپنوئیدها است (Bimbiraite-Survilien *et al*., 2021). این جنس (*Satureja*) در ایران دارای ۱۲ گونه می‌باشد که از میان آن‌ها ۸ گونه انحصار کشور است که معمولاً در نواحی کوهستانی و صخره‌ای پراکنده هستند (Soleimani-Ahmadi *et al*., 2017). شناخت عوامل محیطی، گیاهی و زراعی نقش مهمی در موفقیت کشت گیاهان دارویی دارد. از جمله عوامل مؤثر بر رشد و نمو و تولید مواد مؤثره گیاهان دارویی و معطر، آب است که کمبود آن بیشتر از سایر نهاده‌ها بر کاهش تولید اثر می‌گذارد. تنش خشکی یک محدودیت جهانی مهم برای تولید محصولات کشاورزی و امنیت غذایی است (Ahmed *et al*., 2021). اخیراً راهکارهای کاهش کودهای شیمیایی با استفاده از مواد غیر شیمیایی برای به دست آوردن محصولات با کیفیت بالا مورد بحث قرار گرفته است (Saki *et al*., 2019). در مناطق خشک و نیمه خشک مانند اکثر نقاط ایران، عناصر غذایی خاک پایین است. بنابراین، تقویت گیاه با کود زیستی امکان تولید و توسعه پایدار تولید محصول را فراهم می کند (Bergottini *et al*., 2015). امروزه استفاده از کودهای زیستی به جای مواد شیمیایی، هدف اصلی در تولید محصولات کشاورزی بویژه در گیاهان دارویی است. رویکرد جهانی در تولید گیاهان دارویی به سمت بهبود کمیت و کیفیت ماده مؤثره می‌باشد، بنابراین به‌نظر می‌رسد که تغذیه سالم گیاهان از طریق کاربرد کودهای بیولوژیک دارای بیشترین تطابق با اهداف تولید گیاهان دارویی باشد و منجر به بهبود عملکرد کمی و کیفی آنها شود (Wang *et al*., 2018). کاربرد ازتوباکتر به دلیل توان تثبیت ازت مولکولی به‌صورت همیاری با گیاهان و همچنین تولید هورمون‌های محرک رشد به‌عنوان یک کود بیولوژیک در کشاورزی مورد توجه قرار گرفت. این باکتری علاوه بر پتانسیل قابل توجهی که برای بهبود رشد گیاهان میزبان از خود نشان داده است، به دلایل دیگری مانند طیف وسیع گیاهان میزبان، تنوع گونه‌ای و تعدیل اثرات تنش‌های محیطی مورد توجه قرار گرفته است. ازتوباکتر علاوه بر قابلیت تثبیت نیتروژن با تولید مواد محرک رشد، سبب بهبود رشد ریشه و متعاقب آن افزایش سرعت جذب آب و عناصر غذایی گردیده و از این طریق در افزایش عملکرد تأثیرگذار می‌باشد (Mahgoub *et al*., 2011). میکوریزا همزیستی مسالمت آمیز انواعی از قارچهای خاکزی و ریشه گیاهان می‌باشد و انتقال مواد بین سلول‌های کورتکس ریشه گیاه کلونیزه شده با قارچ، مهم‌ترین مشخصه همزیستی میکوریزا می‌باشد. قارچ میکوریزا وزیکولار آربوسکولار در سال‌های اخیر برای مقابله با کم‌آبی و تنش‌های خشکی در بسیاری از گیاهان مورد استفاده قرار می‌گیرد (Weisany *et al*., 2012). گزارشات متعددی از کاربرد اثر بخش کودهای زیستی ازتوباکتر، آزاسپریلیوم، ورمی کومپوست و میکوریزا در مقابله با تنش کم آبی در گیاه مرزه خوزستانی[1] (Mohammadi *et al*., 2021)، مرزه تابستانه[2] (Esmaielpour *et al*., 2013) و مرزه تابستانه (Esmaielpour *et al*., 2014) موجود می‌باشد. اسید سالیسیلیک یک ترکیب فنلی در گیاه است که به عنوان یک تنظیم کننده شبه هورمونی مورد توجه است و در مکانیسم‌های دفاعی بر علیه تنش های زیستی و محیطی نقش حفاظتی مهمی دارد. القای گلدهی، رشد و نمو، سنتز اتیلن، باز و بسته شدن روزنه‌ها و تنفس از نقش‌های مهم سالیسیلیک اسید به شمار می‌رود (Karagiannidisa *et al*., 2011). گزارشات مختلفی از کاربرد سالیسیلیک اسید در افزایش کمیت و کیفیت گیاه دارویی بابونه[3] (Dadkhah, *et al*., 2012)، آویشن دنایی[4] (Shabkhiz *et al*., 2021) و بالنگوی شهری[5] (Andalibi *et al*., 2021) منتشر شد. پژوهش حاضر با هدف بررسی واکنش گیاه دارویی مرزه تابستانه از نظر خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی در پاسخ به محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید و کودهای زیستی میکوریزا-ازتوباکتر در شرایط تنش خشکی انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش طی دو سال زراعی در مزرعه‌ای واقع در روستای زمان‌آباد شهر ری (استان تهران) به طول جغرافیایی ۵۱ درجه، ۳۹ دقیقه و ۵۷ ثانیه و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه، ۱۹ دقیقه و ۳۴ ثانیه و ارتفاع ۱۰۰۰ متر از سطح دریا انجام شد. این ناحیه‌دارای اقلیمی معتدل و خشک است. میانگین بارندگی سالانه ۳۰۰ میلی‌متر و

1- *Satureja khuzistanica*
2- *Satureja hortensis* L.
3- *Matricaria recutita*
4- *Thymus daenensis*
5- *Lallemantia iberica*

میانگین دمای متوسط سالیانه ۲۶ درجه می‌باشد. برای تعیین وضعیت خاک محل اجرای طرح پیش از شروع آزمایش، از عمق‌های ۳۰ و ۶۰ سانتی‌متری نمونه‌برداری انجام شد. خصوصیات خاک مزرعه در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه تحقیقاتی

Table 1- Physical and chemical characteristics of soil of Research Farm

بافت خاک Soil Texture	ماده آلی Orcanic C (%)	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC ($ds\ m^{-1}$)	نیتروژن کل N (%)	فسفر قابل جذب P ($mg.kg^{-1}$)	پتاسیم K ($mg.kg^{-1}$)
لومی رسی شنی Silt Clay Loam	0.57	7.48	1.02	0.09	8.16	580

آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار طی سال‌های (۱۳۹۷-۱۳۹۶ و ۱۳۹۸-۱۳۹۷) اجرا شد. فاکتورهـای آزمـایش شـامل آبیـاری در سـه سطح ۱- در حد پتانسیل رطوبت خاک ۰/۵- اتمسفر به‌عنوان شـاهد، ۲- در حد پتانسیل ۶/۵- اتمسفر به‌عنوان تنش متوسـط و ۳- در حـد پتانسیل ۱۰- اتمسفر به‌عنوان تنش شدید که در مرحله ۴ تا۶ برگـی (استقرار گیاه با کشت مستقیم) به‌عنوان فاکتور اصلی اعمـال شـدند و فاکتور فرعی شامل کود بیولوژیک ازتوباکتر و میکوریزا در چهار سطح ۱- عدم تلقیح به‌عنوان شاهد، ۲- تلقیح بذر با ازتوباکتر ،۳- تلقیح بذر با میکوریزا و ۴- استفاده توأم ازتوباکتر و میکوریزا و اسید سالیسیلیک در دو سطح ۱- عدم محلول‌پاشی و ۲- محلول‌پاشـی بـا غلظـت ۰/۶ میلی‌مولار که در مرحله ۴ تا ۶ برگی قبـل از گلـدهی (۸۵ روز بعـد از مرحله ۴ برگی) اعمال شدند، بودند. به‌منظـور اعمـال تـنش خشـکی دستگاه اکوتانسیومتر مدل (ساخت کشور آلمان شرکت اکوماتیک مدل EQ15 SN:02385) به مدت دو ماه قبل از اعمـال تـنش در منطقـه ریشه در خاک قرار گرفت. پس از نصب دستگاه، خاک به‌طـور کامـل اشباع شده و روند تغییرات مکش خاک (و محتوای رطوبت خـاک) تـا پایان اعمال تنش‌ها هر یک ساعت یکبار ثبت شد. هر مـاه داده‌هـا از حسگر دستگاه به رایانه منتقل و قرائت می‌شد. بعد از تجزیه و تحلیل اطلاعات نموداری به صورت زمان و پتانسیل رطوبـت رسـم شـد. بـر اساس قرائت داده‌های میکروپروسسور و تجزیه تحلیل داده‌هـا توسـط رایانه و رسیدن به پتانسیل آبی مورد نظر زمان اعمال تنش مشـخص شد. پس از محاسبه پتانسیل‌های رطوبتی خاک، اعمال سـطوح تـنش بعد از مرحله گلدهی بـه روش آبیـاری نشـتی (جـوی و پشـته‌ای) در زمان‌های ۳، ۱۱ و ۲۰ روز به ترتیب برای پتانسیل‌های رطوبتی ۰/۵-، ۶/۵- و ۱۰- اتمسفر انجام شد (Ahmadi and Omidi, 2019).

صفات ارتفاع بوته، وزن خشک ریشه، وزن خشک انـدام هـوایی، میزان کلروفیل کل، میزان پرولین، درصد و عملکـرد اسـانس بررسـی شدند. بوته‌ها در مرحله گلدهی کامل برداشت شـدند و بـرای انـدازه-گیری وزن خشک ریشه و اندام هوایی در آون دمای ۷۵ درجه سانتی-گراد به‌مدت ۲۴ ساعت قرار گرفتند. پـس از تعیـین وزن خشـک، ۱۰ گرم برگ و سرشاخه گل‌دار از هر تکـرار بـرای انـدازه‌گیـری صـفات فیزیولوژیکی به آزمایشگاه منتقل شـد. بـرای انـدازه‌گیـری محتـوای کلروفیل کل از روش آرنـون (Arnon, 1949) اسـتفاده شـد بـه ایـن ترتیب که ۰/۵ گرم بافت تازه برگ را با ۲۰ سی‌سی اسـتن ۸۰ درصد به‌طور کامل عصاره‌گیری نمـوده، سـپس بـه وسـیله اسـپکتروفوتومتر میزان کلروفیل در طول مـوج‌هـای ۶۶۳ و ۶۴۵ نـانومتر قرائـت شـد. محتوای کلروفیل‌های a، b و کل از فرمول‌های زیر به دست می‌آید:

$$Ca=12.7\ (A663)-2.69\ (A645) \times V/100W$$

$$Cb=22.9\ (A645)-2.69\ (A663) \times V/100W$$

$$CT=20.2\ (A645) + 8.02\ (A663) \times V/100W$$

A میزان جذب نوری،C میزان غلظت، Vحجم عصاره، D نسـبت رقت و W وزن نمونه است.

برای اندازه‌گیری محتوای پـرولین بافـت بـرگ از روش بیـتس و همکاران (Bates *et al*., 1973) استفاده شد. از لایه‌ی فوقانی حـاوی تولوئن و پرولین، برای اندازه‌گیری محتوای پرولین در طول موج ۵۲۰ نانومتر در برابر شاهد تولوئن خالص استفاده گردید. برای رسم منحنی استاندارد از پرولین خالص با غلظـت‌هـای صـفر، ۴، ۸، ۱۲، ۱۶ و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر استفاده گردید. سپس منحنی استاندارد پرولین رسم و مقدار پرولین محلول با کمک نمودار استاندارد در گـرم وزن تـر گیـاه بدست آمد. به‌منظور تعیین میـزان اسـانس، مقـدار ۵۰ گـرم از بـرگ خشک شده در هر کرت آزمایشی انتخاب شد. هر نمونه بعد از آسیاب شدن، به درون یک بالن یک لیتری ریخته شد و مقدار ۳۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر به آن اضافه شد سپس بـه مـدت ۴ سـاعت، بـا اسـتفاده از دستگاه کلـونجر مـدل HM6-500 اسانس‌گیـری صـورت گرفـت. عمکرد اسانس از حاصل‌ضرب درصـد اسـانس در وزن خشـک پیکـر رویشی محاسبه شد.

تجزیه آماری

تجزیه واریانس مرکب دو ساله صفات ثبت شده با نرم‌افزار SAS 9.4 انجام گردید. جهت اطمینان از یکنواختی واریانس خطاها، آزمـون

یکنواختی (بارتلت) متجانس بودن واریانس‌ها بر اساس میانگین مربعات و درجه آزادی خطا در دو سال انجام شد. میانگین صفات نیز با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند.

نتایج

ارتفاع بوته

نتایج نشان داد که ارتفاع بوته تحت تأثیر تنش خشکی، کود زیستی، سالیسیلیک اسید، اثر دوگانه تنش خشکی در کود زیستی، تنش خشکی در سالیسیلیک اسید، کود زیستی در سالیسیلیک اسید، اثر سه گانه سال در تنش خشکی در سالیسیلیک اسید و تنش خشکی درکود زیستی در سالیسیلیک اسید معنی‌دار بودند (جدول ۲). نتایج بررسی مقایسه میانگین نشان داد که کاربرد ترکیبی کودهای زیستی (ازتوباکتر+میکوریزا) و محلول پاشی سالیسیلیک اسید دارای بالاترین ارتفاع بوته در تنش شدید (۱۰- اتمسفر) با میانگین ۴۸/۶۷ سانتی‌متر بود (شکل ۱). نتایج پژوهش حاضر با یافته ویسانی و همکاران (Weisany *et al.,* 2012) در بررسی اثر کودهای بیولوژیک بر صفات کمی و کیفی گیاه ریحان (*Ocimum basilicum* L.) مطابقت دارد، این محققین دریافتند که بیش‌ترین ارتفاع گیاه مربوط به تلقیح توأم با کودهای زیستی (۲/۴۲ سانتی‌متر) بود که در مقایسه با کاربرد مجزای تیمار کود زیستی و شاهد اختلاف معنی‌داری را نشان می‌دهد. یکی از عوامل تعیین کننده ارتفاع گیاه، تأمین مواد غذایی مورد نیاز گیاه است، کودهای آلی، با تأمین تدریجی عناصر غذایی این عمل را به خوبی انجام داده و باعث افزایش ارتفاع بوته گیاه می‌شوند.

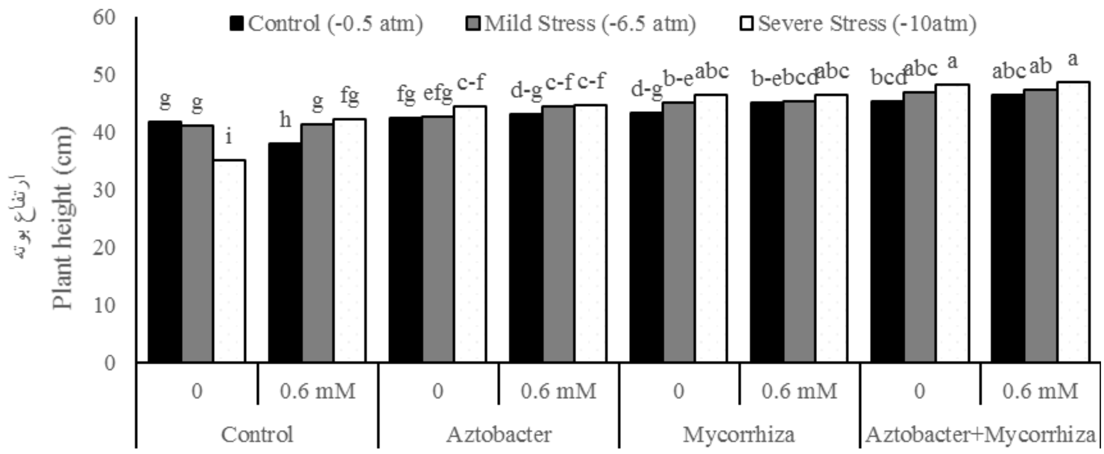
جدول ۲- تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه گیاه مرزه تابستانه تحت اثر کودهای زیستی، سالیسیلیک اسید و تنش خشکی

Table 2- ANOVA for studied traits of summer savory under biofertilizers, salicylic acid and drought stress

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی Df	میانگین مربعات Mean squares						
		ارتفاع بوته Plant height	وزن خشک بوته Plant dry weight	وزن خشک ریشه Root dry weight	کلروفیل کل Total chlorophyll	پرولین Proline	درصد اسانس Essential oil percentage	عملکرد اسانس Essential oil yield
سال Year (Y)	1	0.11ns	130*	0.12ns	0.0003ns	364ns	0.0007ns	48.84ns
خطای اصلی Main Error	2	0.29ns	72.83ns	0.84ns	0.04ns	561ns	0.02ns	58512ns
خشکی Drought (D)	2	132.51**	231**	1.03**	0.04**	119505**	0.32**	184828**
Y×D	2	7.92ns	338**	0.61**	0.07**	7307**	0.24**	6545**
خطای فرعی Sub Error	8	10.71ns	98ns	0.09ns	0.0007ns	993ns	0.002ns	4828ns
کود Fertilizer (F)	3	81.78**	235**	2.49**	0.06**	68104**	0.10**	51950**
اسیدسالیسیلیک Salicylic acid (S)	1	34.02**	403**	0.46**	0.04**	5881**	0.57**	7525**-
Y×F	3	0.51ns	13ns	0.02ns	0.0009ns	113ns	0.0002ns	45ns
Y×S	1	5.44ns	0.007ns	0.68**	0.01**	4106**	0.01**	5814**
D×F	6	51.32**	12ns	0.41**	0.01**	16314**	0.03**	12649**
D×S	2	55.21**	784**	1.08**	0.06**	25346**	0.28**	29427**
F×S	3	54.31**	34ns	0.97**	0.01**	14446**	0.05**	25499**
Y×D×F	6	3.03ns	11ns	0.05ns	0.0009ns	272ns	0.004ns	261ns
Y×D×S	2	13.13*	534**	1.21**	0.04**	23684**	0.50**	39899**
Y×F×S	3	1.24ns	7ns	0.27*	0.0005ns	16ns	0.0007ns	0.00007ns
D×F×*S	6	43.49**	34**	0.42**	0.01**	20722**	0.03**	0.03**
Y×D×F×S	6	1.15ns	8ns	0.12ns	0.003ns	187ns	0.001ns	0.001ns
ضریب تغییرات C.V (%)		4.33	26.35	22.01	9.42	4.42	2.98	2.98

ns، ** و * به ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.

ns, ** and *: non-significant, significant at $p\leq 0.01$ and $p\leq 0.05$, respectively



شکل ۱- اثر سه‌گانه کاربرد کود زیستی (ازتوباکتر و میکوریزا) × اسیدسالیسیلیک × آبیاری بر ارتفاع بوته گیاه مرزه تابستانه (*S. hortensis* L.) (Control: شاهد، Mild Stress: تنش متوسط، Severe Stress: تنش شدید. Control: شاهد، Aztobacter: ازتوباکتر، Mycorrhiza: مایکوریزا، Aztobacter and Mycorrhiz: ازتوباکتر+مایکوریزا)

Figure 1- The triple effect of the (Aztobacter and Mycorrhiza) × salicylic acid ×irrigation on plant height of *Satureja hortensis* L. (LSD, $p \leq 0.05$)

تأمین مواد غذایی و رفع نیازهای گیاه دارویی مرزه تابستانی در نتیجه کاربرد کودهای بیولوژیک باعث افزایش ارتفاع بوته این گیاه شد (Ghaderi *et al*., 2020). علاوه بر این، تأثیر مثبت قارچ میکوریزا و بیوسفر بر ارتفاع بوته گیاهان دارویی مختلف مانند مرزه (Esmaeilpour *et al*., 2013)، ترخون (Lamian *et al*., 2015)، زیره سبز (Haghir Ebrahimabadi *et al*., 2018) و نعناع فلفلی (Mahmoodzadeh *et al*., 2016) گزارش شده است. ترشح ترکیب‌ها و هورمون‌های محرک رشد در گیاه به طور مستقیم و غیر مستقیم توسط باکتری‌های به کار رفته در کود زیستی در تحریک رشد گیاه نقش داشته‌اند (Motahari *et al*., 2011). در تحقیق حاضر طی افزایش سطوح تنش خشکی کاهش در ارتفاع بوته گیاه دارویی مرزه تابستانه تحت شرایط تنش خشکی مشاهده شد. علت کاهش رشد ساقه در تنش خشکی این‌طور بیان شده است که فعالیت آنزیم ایندول استیک اسید اکسیداز در بافت‌های گیاهی که دارای رشد سریعی می‌باشند بسیار کم است ولی فعالیت این آنزیم در شرایط تنش خشکی افزایش یافته و موجب تجزیه هورمون اکسین در گیاه می‌گردد (Bahamin, 2011).

وزن خشک بوته

نتایج بدست آمده حاکی از معنی‌دار بودن تفاوت وزن خشک بوته تحت اثر اصلی سال در سطح یک درصد و اثر تنش خشکی، کودهای زیستی، سالیسیلیک اسید، اثر دوگانه سال در خشکی، تنش خشکی در سالیسیلیک اسید، اثر سه گانه سال در تنش خشکی در سالیسیلیک اسید و تنش خشکی در کودهای زیستی در سالیسیلیک اسید در سطح احتمال پنج درصد بود (جدول ۲). به‌طوری که بیشترین وزن خشک بوته‌های مرزه تابستانه در محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید و اعمال توأم کودهای زیستی ازتوباکتر+میکوریزا در تنش شدید با میانگین ۲۸/۸۳ گرم مشاهده شد. همچنین کم‌ترین میزان وزن خشک بوته در شرایط عدم اعمال محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید و کودهای زیستی در تنش شدید خشکی بدست آمد و کاربرد محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید و اعمال تیمار کود زیستی باعث افزایش وزن خشک بوته گیاه دارویی مرزه تابستانه می‌شود (شکل ۲). میرزا و همکاران (Mirzaei *et al*., 2010) بیان کردند که گلدهی در نمونه‌های تنش یافته مرزه زودتر از بقیه به وقوع می‌پیوندد و تنش باعث کاهش وزن تر و خشک ریشه، ساقه و نیز ارتفاع ساقه در نمونه‌های تنش یافته می‌گردد. نتایج بررسی اثر تلقیح با تثبیت کننده‌های نیتروژن، در گیاه دارویی مرزه افزایش غلظت برخی از عناصر پر مصرف در گیاه را ناشی از افزایش سطح جذبی ریشه به ازای هر واحد از حجم خاک، افزایش جذب آب، فعالیت فتوسنتزی و تعرق بیان کردند که تلقیح با این کودها به‌طور مستقیم بر فرآیندهای فیزیولوژیکی و مصرف کربوهیدرات‌ها در گیاهان مؤثر است (Esmaielpour *et al*., 2013). نتایج حاصله از تحقیق حاضر با نتایج تحقیقاتی که بر روی گیاه دارویی مرزه (Mumivand *et al*., 2013)، گیاه دارویی شنبلیله (Rahimi *et al*., 2020) و گیاه دارویی مور تلخ (Ghesmati and Moradinezhad, 2019) انجام گرفته مطابقت داشت و مشخص شد که کاربرد ترکیبی کودهای زیستی سبب افزایش وزن خشک گیاه مرزه در شرایط تنش خشکی شد. همچنین طی آزمایشی گیاه دارویی مرزه در تیمار حاوی مخلوط قارچ با باکتری، دارای بالاترین وزن خشک بوته بود. قابلیت دسترسی گیاه مرزه به عناصر غذایی بیشتر شاید دلیل عمده افزایش عملکرد و رشد گیاه در تیمار مخلوط قارچ و باکتری بوده است. البته

محققین، بهبود در رشد و نمو گیاهان در اثر کاربرد باکتری‌های محرک رشد گیاه و قارچ میکوریزا را مرتبط با فراهمی جذب عناصر غذایی از طریق بهبود توسعه ریشه و افزایش سطح تماس با خاک، حل کردن فسفات و عناصر غذایی از ترکیبات آلی خاک از طریق تولید اسید فسفاتاز و در نهایت کاهش بیماری ریشه دانسته‌اند (Nosh Kam *et al*., 2016).

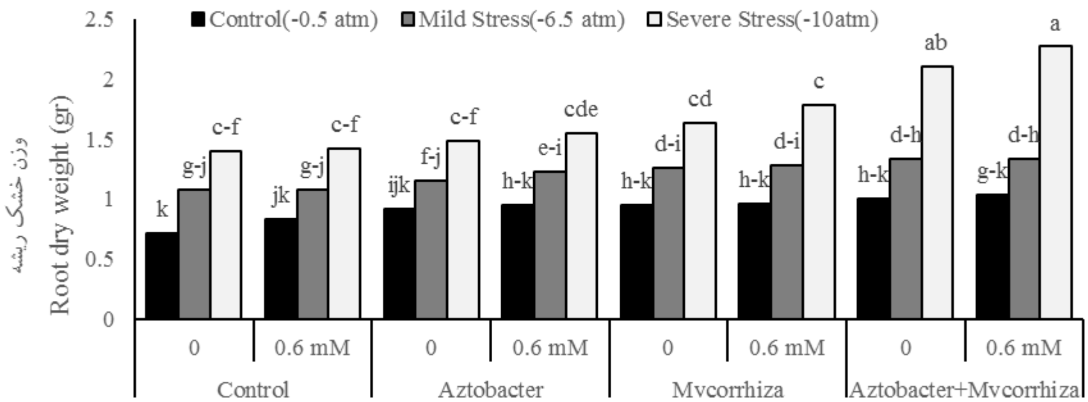


شکل ۲- اثر سه‌گانه کاربرد کود زیستی (ازتوباکتر و میکوریزا) × اسیدسالیسیلیک × آبیاری بر وزن خشک بوته گیاه مرزه تابستانه (*S. hortensis* L.) (Control: شاهد، Mild Stress: تنش متوسط، Severe Stress: تنش شدید. Control: شاهد، Aztobacter: ازتوباکتر، Mycorrhiza: مایکوریزا، Aztobacter and Mycorrhiz: ازتوباکتر+مایکوریزا)

Figure 2- The triple effect of the biofertilizer (Aztobacter and Mycorrhiza)×salicylic acid ×irrigation application on plant dry weight of *Satureja hortensis* L. (LSD, $p\leq 0.05$)

وزن خشک ریشه

وزن خشک ریشه تحت تأثیر اثرات اصلی خشکی، کود و سالیسیلیک اسید، اثر دوگانه سال در خشکی، سال در سالیسیلیک اسید، خشکی در کود زیستی، خشکی در سالیسیلیک اسید و کود زیستی در سالیسیلیک اسید، اثرات سه گانه سال در خشکی در سالیسیلیک اسید، سال در کود زیستی در سالیسیلیک اسید و خشکی در کود زیستی در سالیسیلیک اسید در سطح احتمال ۱٪ قرار گرفتند (جدول ۲). طبق نتایج مقایسه میانگین اثر سه گانه تنش خشکی در کود زیستی و سالیسیلیک اسید، صفت وزن خشک ریشه در تنش شدید خشکی با اعمال کود زیستی (ازتوباکتر+میکوریزا) و محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید ۰/۶ میلی‌مولار بیش‌ترین میزان را داشت.کم‌ترین میزان وزن خشک ریشه نیز در عدم تنش خشکی و کاربرد کودهای زیستی و سالیسیلیک اسید مشاهده شد (شکل ۳).



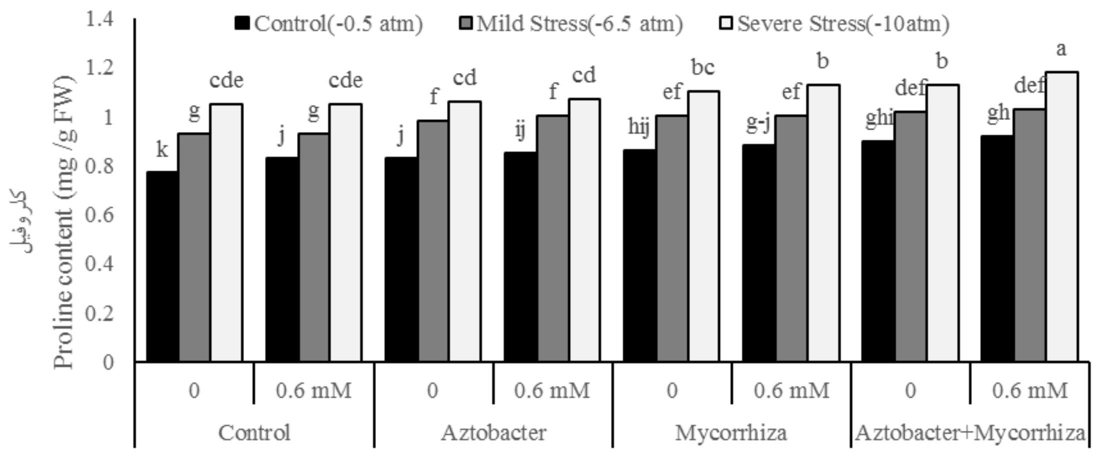
شکل ۳- اثر سه‌گانه کاربرد کود زیستی (ازتوباکتر و میکوریزا) × اسیدسالیسیلیک × آبیاری بر وزن خشک ریشه گیاه مرزه تابستانه (*S. hortensis* L.) (Control: شاهد، Mild Stress: تنش متوسط، Severe Stress: تنش شدید. Control: شاهد، Aztobacter: ازتوباکتر، Mycorrhiza: مایکوریزا، Aztobacter and Mycorrhiz: ازتوباکتر+مایکوریزا)

Figure 3- The triple effect of the biofertilizer (Aztobacter and Mycorrhiza)×salicylic acid ×irrigation application on root dry weight of *Satureja hortensis* L.) (LSD, $p\leq 0.05$)

اعمال تیمار تنش رطوبتی در تحریک توسعه ریشه مؤثر بود. در آزمایشی افزایش وزن خشک ریشه سرخارگل با افزایش شدت تنش رطوبتی مشاهده شد (Goksoy *et al*., 2004). در آزمایشی افزایش وزن خشک ریشه گیاه دارویی سرخارگل در تنش رطوبتی شدید مشاهده شد، همچنین تیمار کودی ورمی‌کمپوست و هیومیک اسید بیش‌ترین میزان وزن خشک ریشه داشتند (Soltanian *et al*., 2021)، که در پژوهش حاضر نیز افزایش میزان وزن خشک ریشه در اعمال کودهای زیستی و سالیسیلیک اسید مشاهده شد.

میزان کلروفیل کل

اثر خشکی، کود زیستی و محلول پاشی سالیسیلیک اسید، اثر دوگانه سال در خشکی، سال در سالیسیلیک اسید، خشکی در کود زیستی، خشکی در سالیسیلیک اسید، اثر سه گانه سال در خشکی در سالیسیلیک اسید و خشکی در کود زیستی در سالیسیلیک اسید بر میزان کلروفیل کل برگ گیاه دارویی مرزه تابستانه در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد (جدول ۲). افزایش تنش خشکی موجب افزایش محتوای کلروفیل کل شد. به‌طوری که در تنش شدید خشکی و کاربرد توأم کودهای زیستی (ازتوباکتر+میکوریزا) با محلول پاشی سالیسیلیک اسید (۰/۶ میلی‌مولار) دارای بیش‌ترین مقدار کلروفیل کل با میزان ۱/۱۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تازه برگ مشاهده شد (شکل ۴). اسید سالیسیلیک یک ترکیب فنلی است که در ریشه گیاهان به میزان کم تولید می‌شود و نقش محوری در فرآیندهای فیزیولوژیک گیاه از جمله فتوسنتز، بسته شدن روزنه‌ها، تعرق، سنتز کلروفیل و پروتئین، ممانعت از بیوسنتز اتیلن و جذب و انتقال عناصر دارد. این ترکیب به عنوان یک سیگنال مولکولی مهم در پاسخ گیاهان به تنش‌های زیستی و غیر زیستی عمل می‌کند (Gorgini shabankareh and khorasaninejad, 201). کودهای زیستی با تأمین نیازهای غذایی موجودات ذره‌بینی خاک، سبب افزایش آن‌ها شده و در نتیجه به کاهش pH خاک می‌انجامند و بر میزان جذب عناصر غذایی از جمله آهن، منگنز و منیزیم که در سنتز کلروفی نقش مهمی ایفا می‌کنند، می‌افزایند و سرانجام سبب می‌شوند که سنتز کلروفیل افزایش یابد (Sanchooli, 2007). بنابراین تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه و به‌ویژه نیتروژن افزایش رشد سبزینه‌ای گیاه را به‌دنبال خواهد داشت که باکتری‌های موجود در کودهای زیستی قادرند اثر تنش‌های محیطی مانند خشکی، سرما، گرما و شوری را نیز تعدیل نمایند (Ghollarata and Raiesi, 2007).



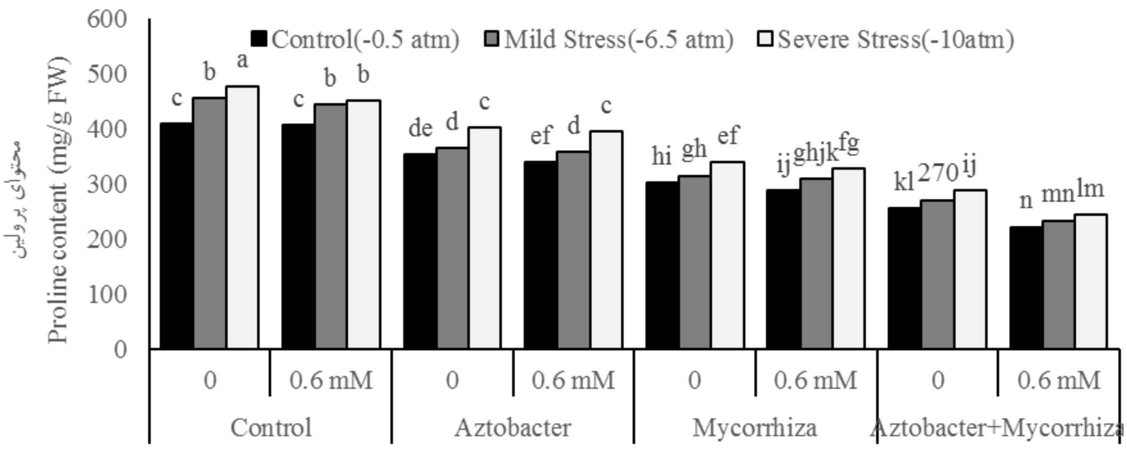
شکل ۴- اثر سه‌گانه کاربرد کود زیستی (ازتوباکتر و میکوریزا) × اسیدسالیسیلیک × آبیاری بر میزان کلروفیل گیاه مرزه تابستانه (*S. hortensis* L.)
(Control: شاهد، Mild Stress: تنش متوسط، Severe Stress: تنش شدید. Control: شاهد، Aztobacter: ازتوباکتر، Mycorrhiza: مایکوریزا، Aztobacter and Mycorrhiz: ازتوباکتر+مایکوریزا)

Figure 4- The triple effect of the biofertilizer (Aztobacter and Mycorrhiza)× salicylic acid ×irrigation on chlorophyll content of *Satureja hortensis* L. (LSD, $p \leq 0.05$).

میزان پرولین

نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر خشکی، کود زیستی و سالیسیلیک اسید، اثر متقابل سال در خشکی، سال در سالیسیلیک اسید، خشکی در کود زیستی، خشکی در سالیسیلیک اسید، کود زیستی در سالیسیلیک اسید، سال در خشکی در سالیسیلیک اسید و خشکی در کود زیستی در سالیسیلیک اسید در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد (جدول ۲). براساس نتایج به دست آمده در این پژوهش، عدم استفاده از کودهای زیستی ازتوباکتر+میکوریزا و عدم

محلول‌پاشی با تنظیم کننده رشد اسید سالیسیلیک در شرایط تنش شدید (۱۰ اتمسفر) دارای بیش‌ترین میزان محتوای پرولین بافت تازه برگ بود. کم‌ترین میزان درصد اسانس در شرایط کاربرد توأم ازتوباکتر+میکوریزا در کاربرد شالیسیلیک اسید و عدم تنش خشکی مشاهده شد (شکل ۵). از آنجا که زیاد شدن پرولین یکی از شاخص‌های مقاومت به خشکی می‌باشد، تنش خشکی باعث افزایش شدید در تجمع این اسید آمینه گردید. هم‌چنین بابائی و همکاران (Babaei *et al*., 2011) نیز در بررسی اثر تنش خشکی بر میزان پرولین در آویشن به این نتیجه رسیدند که تنش خشکی اثر معنی‌داری بر انباشت پرولین داشته و میزان آن را افزایش داده است. اسماعیلی و همکاران (Esmaielpour *et al*., 2013) گزارش دادند که میزان پرولین در برگ‌های گیاه دارویی مرزه تحت تنش خشکی افزایش نشان داد ولی میزان پرولین بافت برگ در تلقیح با قارچ میکوریزا کاهش یافت که در نتایج این پژوهش نیز مشاهده شد و میزان پرولین در تیمار عدم تلقیح دارای بیش‌ترین مقدار بود. معمولاً گیاهانی که با میکوریزا تلقیح می‌شوند با استفاده از روابط آبی و تغذیه بهتر نسبت به گیاهان بدون میکوریزا، قادرند از شرایط تنش خشکی به‌طور موقت فرار کنند و کم‌تر دچار آسیب شوند و در نتیجه میزان پرولین افزایش کم‌تری را نشان می‌دهد (Ruiz-Lozano, 2003).



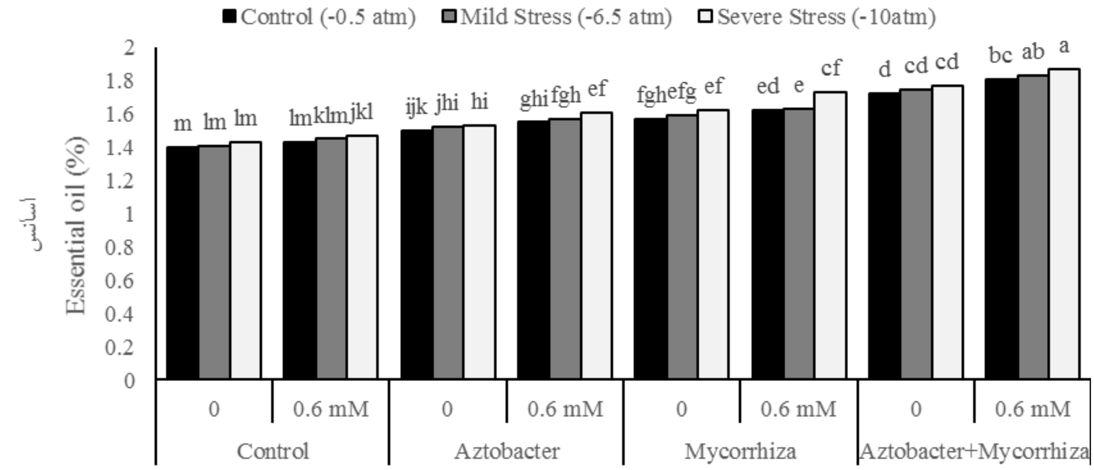
شکل ۵- اثر سه‌گانهکاربرد کود زیستی (ازتوباکتر و میکوریزا) × اسیدسالیسیلیک × آبیاری بر میزان پرولین گیاه مرزه تابستانه (*S. hortensis* L.)
(Control: شاهد، Mild Stress: تنش متوسط، Severe Stress: تنش شدید. Control: شاهد، Aztobacter: ازتوباکتر، Mycorrhiza: مایکوریزا، Aztobacter and Mycorrhiz: ازتوباکتر+مایکوریزا)

Figure 5- The triple effect of the biofertilizer (Aztobacter and Mycorrhiza)× salicylic acid ×irrigation application on proline content of *Satureja hortensis* L. (LSD, $p\leq 0.05$)

درصد و عملکرد اسانس

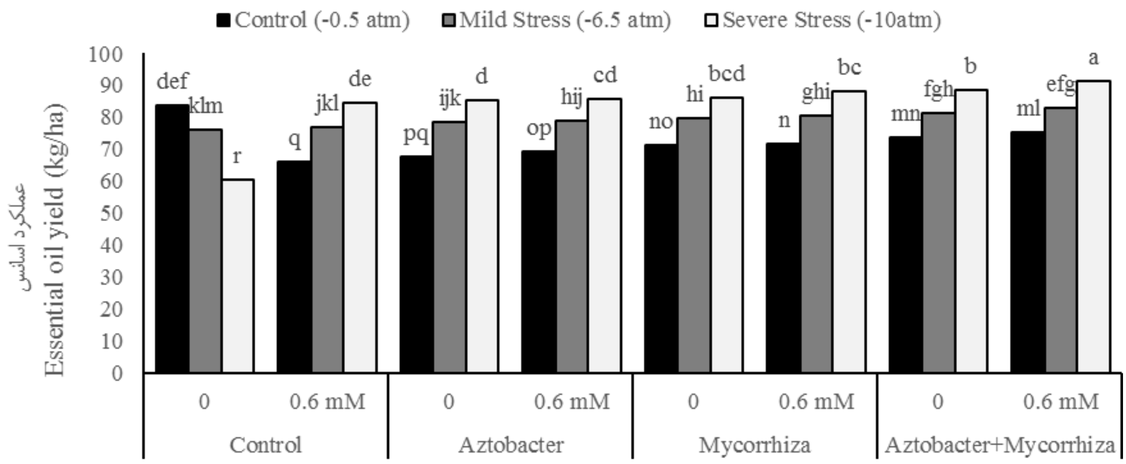
درصد و عملکرد اسانس تحت اثر خشکی، کود زیستی و سالیسیلیک اسید، اثر متقابل سال در خشکی، سال در سالیسیلیک اسید، خشکی در کود زیستی، خشکی در سالیسیلیک اسید، کود زیستی در سالیسیلیک اسید، سال در خشکی در سالیسیلیک اسید و خشکی در کود زیستی در سالیسیلیک اسید در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شدند (جدول ۲). افزایش تنش خشکی موجب افزایش میزان اسانس بافت برگ گیاه مرزه تابستانه شد، اعمال کودهای زیستی ازتوباکتور و میکوریزا در هر دو سطح محلول پاشی سالیسیلیک اسید موجب افزایش درصد اسانس در سطوح تنش خشکی نسبت به عدم اعمال کود زیستی شد. همچنین بیش‌ترین میزان درصد اسانس در تنش شدید خشکی و کاربرد سالیسیلیک اسید مشاهده شد (شکل ۶). طبق نتایج مقایسه میانگین اثر سه گانه خشکی در کود زیستی و سالیسیلیک اسید عملکرد اسانس در شرایط کاربرد کودهای زیستی و محلول پاشی سالیسیلیک اسید افزایش یافت و بیش‌ترین میزان عملکرد اسانس مربوط به تنش شدید با میانگین ۹۱/۲ کیلوگرم در هکتار بود (شکل ۷). بیشترین میزان درصد اسانس و عملکرد کاپیتول گیاه طی کاربرد کودهای زیستی بر گیاه بابونه آلمانی (*Matricaria chamomilla* L.) مشاهده شد (Dastborhan *et al*., 2011). تنش خشکی درصد اسانس گیاه دارویی آویشن را افزایش داد، چون در مواجه با تنش خشکی متابولیت‌های بیشتری تولید شده و میزان اسانس باعث جلوگیری از عمل اکسیداسیون در سلول می‌شوند (Salarpour Qhoraba and Farahbakhsh, 2021)، در پژوهش حاضر نیز تنش خشکی موجب افزایش درصد اسانس گیاه دارویی مرزه شد. همچنین طی آزمایشی کاربرد کودهای بیولوژیک بر وزن خشک اندام هوایی، درصد و عملکرد اسانس مرزه تأثیر معنی‌داری

داشت و تیمار ترکیبی بیشترین درصد اسانس را به خود اختصاص دادند (Rezvani Moghaddam *et al*., 2013). استفاده از کودهای آلی، بر روی افزایش میزان اسانس گیاه مرزه (Sharafkhaneh, 2015) و گیاه رازیانه (Darzi *et al*., 2012) مؤثرتر از کود شیمیایی بوده و با افزایش مقدار کودهای آلی درصد اسانس نیز افزایش پیدا می‌کند. همچنین در پژوهشی مشاهده شد که کاربرد کودهای زیستی تأثیر معنی‌داری بر افزایش درصد و عملکرد اسانس گیاه دارویی مرزه خوزستانی داشت و استفاده از کودهای زیستی همراه ورمی‌کمپوست جهت افزایش درصد و عملکرد اسانس گیاه دارویی مرزه خوزستانی توصیه شد (Mohammadi *et al*., 2021).



شکل ۶- اثر سه‌گانه کاربرد کود زیستی (ازتوباکتر و میکوریزا) × اسیدسالیسیلیک × آبیاری بر درصد اسانس گیاه مرزه تابستانه (*S. hortensis* L.)
(Control: شاهد، Mild Stress: تنش متوسط، Severe Stress: تنش شدید. Control: شاهد، Aztobacter: ازتوباکتر، Mycorrhiza: مایکوریزا، Aztobacter and Mycorrhiz: ازتوباکتر+مایکوریزا)

Figure 6- The triple effect of the biofertilizer (Aztobacter and Mycorrhiza)× salicylic acid ×irrigation on the percentage of essential oil of *Satureja hortensis* L. (LSD, $p \leq 0.05$)



شکل ۷- اثر سه‌گانه کاربرد کود زیستی (ازتوباکتر و میکوریزا) × اسیدسالیسیلیک × آبیاری بر عملکرد اسانس گیاه مرزه تابستانه (*S. hortensis* L.) (Control: شاهد، Mild Stress: تنش متوسط، Severe Stress: تنش شدید. Control: شاهد، Aztobacter: ازتوباکتر، Mycorrhiza: مایکوریزا، Aztobacter and Mycorrhiz: ازتوباکتر+مایکوریزا)

Figure 7- The triple effect of biofertilizer (Aztobacter and Mycorrhiza)× salicylic acid ×irrigation application on essential oil yield of *Satureja hortensis* L. (LSD, $p \leq 0.05$)

محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک بر درصد اسانس گیاه دارویی ریحان تأثیر معنی‌داری داشت همچنین با افزایش غلظت اسید سالیسیلیک بازدهی اسانس ریحان افزایش یافت و بیشترین میزان افزایش در تیمار یک میلی‌مولار به دست آمد (Rmarde, 2013).

تیمار اسید سالیسیلیک در غلظت‌های ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر سبب افزایش معنی‌دار درصد اسانس گیاه دارویی مریم گلی شد (Rowshan *et al*., 2013). همچنین نتایج مشابهی در مورد گیاه حنا در اثر تیمار سایکوسل مشاهده شد. عموماً تجمع و تشکیل اسانس در گیاهان، تحت شرایط خشک محیطی تمایل به افزایش نشان می‌دهد (Bannayan *et al*., 2008). پاسخ‌های دفاعی گیاه منجر به بیوسنتز و تجمع انواع ترکیبات ثانویه گیاهی می‌گردد، لذا به‌عنوان راهکاری مؤثر برای افزایش تولید متابولیت‌های ثانویه مانند آلکالوئیدها، ترپنوئیدها، فلاونوئیدها، ترکیبات فنولیک و فیتواکسین‌ها شناخته شده است (Abreu and Mazzafera, 2005). سنتز بسیاری از متابولیت‌های ثانویه و آنزیم‌ها در گیاهان معمولاً با پاسخ‌های دفاعی آنها به شرایط تنش مرتبط است. اگرچه مقدار ترکیبات متابولیت ثانویه در گیاهان دارویی تحت تأثیر ژن‌ها می‌باشد، ولی مقدار، غلظت و تجمع آنها به طور قابل توجهی تحت تأثیر شرایط محیطی و شرایط کشت و کار گیاهان می‌باشد (Wu *et al*., 2005).

نتیجه‌گیری

باتوجه به نتایج حاصل از این آزمایش می‌توان چنین استدلال کرد که عکس العمل صفات ارتفاع بوته، وزن خشک بوته و عملکرد اسانس به افزایش میزان سطوح تنش خشکی منفی بود ولی صفات وزن خشک ریشه، میزان کلروفیل کل، پرولین و درصد اسانس پاسخ معکوس دادند به‌طوری که بیش‌ترین میزان این صفات در شرایط تنش شدید مشاهده گردید و کاربرد توأم کودهای زیستی (ازتوباکتور+میکوریزا) و اسید سالیسیلیک ۰/۶ میلی‌مولار تأثیر مثبت و افزایشی نسبت به دیگر سطوح کود زیستی و سالیسیلیک اسید در صفات مورد مطالعه پژوهش حاضر مشاهده شد.

سپاسگزاری

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از مسئولین آزمایشگاه‌های دانشگاه آزاد اسلامی ورامین واحد پیشوا برای همکاری در اجرای این آزمایش تشکر و قدردانی نمایند.

منابع

1. Abreu, I.N., & Mazzafera, P. (2005). Effect of water and tempetature stress on the content of active constituents of *Hypericum brasiliense* choisy plant. *Physiology and Biochemistry* 43: 241-248. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2005.01.020.
2. Ahmadi, K., & Omidi, H. (2019). Evaluation of morphological characteristics, yield components and catalase enzymes activity of *Lallemantia royleana* Benth. under drought stress. *Journal of Agroecology 11*(2): 757-774. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/JAG.V11I2.69373.
3. Ahmed, M.M., Hagagy, N., & AbdElgawad, H. (2021). Establishment of actinobacteria–*Satureja hortensis* interactions under future climate CO_2-enhanced crop productivity in drought environments of Saudi Arabia. *Environ Science Pollut Research* 28: 62853–62867. https://doi.org/10.1007/s11356-021-14777-7.
4. Andalibi, B., Mohammadi Azar, M., Esmailpour, B., & Shekari, F. (2021). Study on effects of salicylic acid and nanosilicon on some morphophysiological characteristics and essential oil of *Lallemantia iberica* (M.B.) Fisch. & C.A. Mey. under salinity stress. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research 37*(2): 364-380. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/ijmapr.2021.353581.2943.
5. Arnon, D.I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts. Poly phenol oxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology 24*(1): 1-15. https://doi.org/10.1104/pp.24.1.1.
6. Babaei, K., Amini Dehaghi, M., Modarres Sanavi, A., & Jabbari, R. (2011). The effect of drought stress on morphological traits, proline content and thymol percentage in thyme (*Thymus vulgaris*). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research 26*(2): 239-251. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/IJMAPR.2010.6939.
7. Bahamin, P. (2011). *The effect of biological, animal and chemical fertilizers on the quantitative and qualitative yield of sunflower*. Master Thesis in Agroecology, Faculty of Agriculture, Birjand University. Birjand, Korasan Shomali, Iran.
8. Bannayan, M., Nadjafi, F., Azizi, M., Tabrizi, L., & Rastgoo, M. (2008). Yield and seed quality of *Plantago ovata* and *Nigella sativa* under different irrigation treatments. *Industrial Crops and Products* 27: 11–16. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2007.05.002.
9. Bates, L.S., Waldern, R.P., & Teave, I.D. (1973). Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil* 39: 205-207. https://doi.org/10.1007/BF00018060.
10. Bergottini, V.M., Otegui M.B., Sosa D.A., Zapata P.D., Mulot M., Rebord M., & Junier P. (2015). Bio-inoculation of yerba mate seedlings (Ilex paraguariensis St. Hill.) with native plant growth- promoting rhizobacteria: a sustainable alternative to improve crop yield. *Biology and Fertility of Soils* 51: 749-755. https://doi.org/10.1007/s00374-015-1012-5.
11. Bimbiraite-Survilien, K., Stankeviˇcius, M., Šuštauskaite, S., Gegotek, A., Maruška, A., Skrzydlewska, E.,

Barsteigiene, Z., Akunea, I., Ragažinskiene, O., & Lukošius, A. (2021). Evaluation of chemical composition, radical scavenging and antitumor activities of *Satureja hortensis* L. *Herb Extracts Antioxidants 10*(53): 1-15. https://doi.org/10.3390/antiox10010053.

12. Dadkhah, A., Amini Dehghi, M., & Kafi, M. (2012). Investigating the effect of different levels of nitrogen and phosphorus fertilizers on quantitative and qualitative yield of chamomile. *Iranian Journal of Field Crops Research 10*(2): 321-326. (In Persian with English abstract) https://doi.org/10.22067/GSC.V10I2.16214.
13. Darzi, M.T., Hadj Seyed Hadi, M.R., & Rejali, F. (2012). Effects of cattle manure and plant growth promoter bacteria application on some morphological traits and yield in Coriander (*Coriandrum sativum* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 28*(3): 434-446. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/IJMAPR.2012.2945.
14. Dastborhan, S., Zehtab-Salmasi, S., Nasrollahzadeh, S., & Tavassoli, A.R. (2011). Effect of biofertilizers and different amounts of nitrogen on yield of flower and essential oil and nitrogen use efficiency of German chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 27*(2): 290-305. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/IJMAPR.2011.6414.
15. Esmaielpour, B., Faraji-Mehmany, A., Sefidkon, F., Abbaszadeh, B., Khavazi, K., & Ghanbari, A. (2014). Effects of biofertilizers on growth criteria, quantitative and qualitative yield of summer savory (*Satureja hortensis* L.). *Journal of Agroecology 6*(4): 870-879. (In Persian with English abstract). https://doi.org/0.22067/jag.v6i4.30571.
16. Esmaielpour, B., Jalilvand, P., & Hadian, J. (2013). Effects of drought stress and arbuscular mycorrhizal fungi on some morphophysiological traits and yield of savory (*Satureja hortensis* L.), *Journal of Agroecology 5*(2): 169-177. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/JAG.V5I2.24496.
17. Ghaderi, A., Noee, A., Ahmadi, K., & Saborifard, H. (2020). Evaluation the effects of Thiobacillus biological and chemical fertilizers on morphological and phytochemical characteristics of *Satureja hortensis* L., *Eco-phytochemical Journal of Medicinal Plants 8*(2): 13-29. (In Persian with English abstract). https://doi.org/20.1001.1.23223235.1399.8.2.2.4.
18. Ghesmati, M., & Moradinezhad, F. (2019). Influence of different levels of organic fertilizers on quantitative and biochemical properties of *Salvia mirzayanii* Rech. F. & Esfand. *Eco-phytochemical Journal of Medicinal Plants 7*(2): 78-90. (In Persian with English abstract) https://doi.org/20.1001.1.23223235.1398.7.2.6.1.
19. Ghollarata, M., & Raiesi, F. (2007). The adverse effects of soil salinization on the growth of *Trifolium alexandrinum* L. and associated microbial and biochemical properties. *Journal Soil Biology and Biochem* 39: 1699-1702. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.01.024.
20. Goksoy, A.T., Demir, A.O., Turan, Z.M., & Daustu, N. (2004). Responses of sunflower to full and limited irrigation at different growth stages. *Field Crop Research* 87: 167-178. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2003.11.004.
21. Gorgini Shabankareh, H., & Khorasaninejad, S. (2017). Effect of bio-fertilizers and salicylic acid on the yeild and qualitative characteristics in rosemary under water-deficit regimes, *Journal of Crops Improvement 19*(2): 475-491. (In Persian with English abstract). https://doi.org/20.1001.1.83372008.1396.19.2.17.5.
22. Haghir Ebrahimabadi, A., Hatami, M., Karimzadeh, Asl K., & Ghorbanpour, M. (2018). Effect of mycorrhizal fungi and biophosphor fertilizer on growth features, yield and yield components, and essntial oil constituents in *Cuminum cyminum* L. *Journal Medicinal Plants 17*(66): 74-90**.** (In Persian with English abstract). https://doi.org/20.1001.1.2717204.2018.17.66.3.1.
23. Karagiannidisa, N., Thomidisa, T., Lazarib, D., Panou-Filotheoua, E., & Karagiannidoua, C. (2011). Effect of three Greek arbuscular mycorrhizal fungi in improving the growth,nutrient oncentration, and production of essential oils of oregano and mint plants. *Science Horticulture 129*(2): 329–334. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.03.043.
24. Lamian, A., Naghdibadi, H.A., Ladan Moghadam, A.R., & Mehrafarin, A. (2015). Changes of morpho-physiological traits, essential oil and methyl chavicol content of tarragon (*Artemisia dracunculus*) to Mycorrhiza (*Glomus intraradices*) inoculation and salinity stress. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 14*(56): 64-77. https://doi.org/20.1001.1.2717204.2015.14.56.12.9.
25. Mahgoub, M.H., Abd El Aziz, N.G., & Mazhar, A.M.A., (2011). Response of *Dahlia pinnata* L. plant to foliar spray with putrescine and thiamine on growth, flowering and photosynthetic pigments. *American-Eurasian Journal of Agriculture and Environmental Science 10*(5): 769-775.
26. Mahmoodzadeh, M., Rasooli Sedghiani, M.H., Asghari Lejayer, H., & Hasani, A. (2016). The effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) and arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) inoculation on nutrient uptake and some morphological factors in peppermint (*Mentha piperita*). *Journal of Soil Management and Sustainable Production 6*(1): 161-176. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22069/EJSMS.2016.3009.
27. Mirzaei, A., Akbartabar, M., Sadeghi, H., & Sharifi, B. (2010). The antioxidant activities and total phenolic of *Artemisia Martima*, *Achillea Millefoliumand* and *Matricaria Recutica*. *Journal of Armaghan Danesh 15*(1): 243-252. (In Persian with English abstract)
28. Mohammadi, M., Sefidkon, F., Asadi-Sanam, S., & Kalatejari, S. (2021). Effects of nutritional treatments on morphological characteristics and essential oil yield of *Satureja khuzistanica* Jamzad. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research 37*(2): 193-213. (In Persian with English abstract).

https://doi.org/0.22092/IJMAPR.2021.351383.2840.

29. Motahari, M., Abbas, H., Moradi, P., & Motahari, H. (2011). Effect of phosphorus fertilizer and *mycorrhiza* on yield, yield components and essential oils of *Marigold*, The first national conference on modern agricultural Sciences and Technologies. Zanjan University, 10-12 September 2011. (In Persian with English Abstract)
30. Mumivand, H., Nooshkam, A., Moseni, A., & Babalar, M. (2013). Influence of nitrogen and calcium carbonate application rates on nitrate accumulation and yield of summer savory (*Satureja hortensis* L.). *European Journal Crops Production 6*(2): 109-124. https://doi.org/ 20.1001.1.2008739.1392.6.3.7.7.
31. Nosh Kam, A., Majnoon Hosseini, N., Hadian, J., Jahansuz, M.R., Khavazi, K., Salehnia, A., & Hedayatpour, S. (2016). Study the effects of biological and chemical fertilizer on quantitative and qualitative characteristics of savory specie (*Satureja khuzestanica* jamzad) *Journal of Crop Production 8*(4): 87-103. (In Persian with English abstract). https://doi.org/20.1001.1.2008739.1394.8.4.5.1.
32. Rahimi, A., Dovlati, B., Amirnia, R., & Heydarzade, S. (2020). Effect of application of mycorrhizal fungus and Azotobacter on physiological characteristics of *Trigonella foenum-graecum* L. under water stress conditions. *Iranian Journal of Plant Biology 11*(4): 1-18. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22108/IJPB.2019.116384.1149.
33. Rezvani Moghaddam, P., Aminghafori, A., Bakhshaie, S., & Jafari, L. (2013). The effect of organic and biofertilizers on some quantitative characteristics and essential oil content of summer savory (*Satureja hortensis* L.). *Agroecology 5*(2): 105-112. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/JAG.V5I2.24460.
34. Rmarde, K. (2013). Interaction effects of salicylic acid foliar application and different irrigation treatments on some quantitative, qualitative and osmotic properties of basil. *Journal of Plant Ecophysiology Applied Research 1*(1): 3-19.
35. Rowshan, V., & Haiati, P. (2013). Effects of exogenous salicylic acid on growth factors and quality and quantity of essential oil in *Satureja hortensis* L. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research 29*(4): 808-817.
36. Ruiz-Lozano, J.M. (2003). Arbuscular mycorrhizal symbiosis and alleviation of osmotic strees, new perspectives for molecular studies, Mycorrhiza 13: 309-317. https://doi.org/110.1007/s00572-003-0237-6.
37. Saki, A., Mozafari, H., Asl, K.K., Sani, B., & Mirza, M. (2019). Plant yield, antioxidant capacity and essential oil quality of *Satureja mutica* supplied with cattle manure and wheat straw in different plant densities. *Commun Soil Science Plant Analysis* 51: 2683-2693. https://doi.org/10.1080/00103624.2019.1670835.
38. Salarpour Qhoraba, F., & Farahbakhsh, H. (2021). Effects of chitosan foliar application on some physiological and biochemical traits of thyme (*Thymus vulgaris* L.) under drought stress. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research 37*(2): 530-548. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/ijmapr.2021.354361.2981.
39. Sanchooli, N. (2007). Effects of different ratios of manure and chemical fertilizer and mixture on soil properties, yield and yield components of corn. Msc Thesis in Agronomy, University of Zabol, Iran. (In Persian with English abstract)
40. Shabkhiz, H., Javanmard, A., Ostadi, A., & Morshedloo, M.R. (2021). Improving quantity and quality of *Thymus daenensis* Celak. essential oil with application of Myco-Root biofertilizer under different irrigation levels. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research 37*(2): 434-456. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/JAG.V7I2.50231.
41. Sharafkhaneh, A., Jahan, M., Banayan, Aval, M., Kouchaki, A. & Rezvani Moghadam, P. (2015). The effect of organic, biological and chemical fertilizers on yield, essential oil percentage and some agroecological characteristics of summer savory (*Satureja hortensis* L.) under Mashhad conditions. *Journal of Agricultural Ecology 7*(2): 179-189. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/ijmapr.2014.4307.
42. Soleimani-Ahmadi, M., Abtahi, S.M., Madani, A., Paksa, A., Abadi, Y.S., Gorouhi, M.A., & Sanei-Dehkordi, A. (2017). Phytochemical profile and mosquito larvicidal activity of the essential oil from aerial parts of Satureja bachtiarica Bunge against malaria and Lymphatic filariasis vectors. *Journal of Essential Oil Bearing Plants* 20: 328-336. (In Persian with English abstract)
43. Soltanian, B., Rezvani Moghaddam, P., & Asili, J. (2021). The effect of water stress, chemical and organic fertilizers on biomass, seed yield and root phenolic compounds of purple coneflower (*Echinacea purpurea* L.). *Journal of Horticultural Science 34*(4): 593-603. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jhorts4.v34i4.82030.
44. Wang, Y., Zhu, Y., Zhang, S., & Wang, Y. (2018). What could promote farmers to replace chemical fertilizers with organic fertilizers. *Journal of Cleaner Production* 199: 882-890. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.222.
45. Weisany, W., Rahimzadeh, S., & Sohrabi, Y. (2012). Effect of biofertilizers on morphological, physiological characteristic and essential oil content in basil (*Ocimum basilicum* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 28*(1): 73-87. https://doi.org/10.22092/IJMAPR.2012.4014.
46. Wu, S.C., Caob, Z.H., Lib, Z.G., Cheunga, K.C., & Wong, M.H. (2005). Effects of biofertilizer containing N-fixer, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth: a greenhouse trial. *Geoderma* 125: 155-166. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.07.003.

47. Yazdanpanah, S., Baghizadeh, A., & Abbassi, F., (2011). The interaction between drought stress and salicylic and ascorbic acids on some biochemical characteristics of *Satureja hortensis*. *African Journal of Agricultural Research 6*(4): 798-807. https://doi.org/10.5897/AJAR10.405.